第46卷 第9期
2023年9月
干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY
Vol. 46 No. 9
Sep. 2023

植物纤维毯覆盖对干旱区尾矿砂水热分布的影响

王 鑫[1,2,3]， 靳正忠[1,2]， 施建飞[1,2,3]， 杨小亮[1,2,3]， 徐新文[1,2]

（1. 中国科学院新疆生态与地理研究所国家荒漠-绿洲生态建设工程技术研究中心，新疆 乌鲁木齐 830011；
2. 中国科学院新疆生态与地理研究所莫索湾沙漠研究站，新疆 石河子 832000；
3. 中国科学院大学，北京 100049）

摘 要：覆盖会影响尾矿水、热分布，研究植物纤维毯覆盖对尾矿砂水热分布的影响，对微生物诱导碳酸钙沉淀（Microbial induced calcite precipitation，MICP）技术控制尾矿污染扩散过程中调控水热条件具有实际意义。于2022年夏季在中国科学院新疆生态与地理研究所莫索湾沙漠研究站，布设基于不同材料（黄麻、稻草、椰丝和棕榈）、不同规格（300 g·m^{-2}、500 g·m^{-2}、700 g·m^{-2}和900 g·m^{-2}）的植物纤维毯覆盖于尾矿砂的田间模拟试验，通过测定尾矿砂温度、含水率与蒸发量变化，探究植物纤维毯覆盖对尾矿砂水热分布的影响。结果表明：（1）植物纤维毯覆盖能降低0~20 cm尾矿砂温度、减小日温差及日变化幅度，其中900 g·m^{-2}的稻草纤维毯（D9）降温作用最强，日变化幅度最小。（2）植物纤维毯覆盖能改善0~30 cm尾矿砂的保水性，减少水分蒸发损失。（3）植物纤维毯覆盖能抑制尾矿砂水分蒸发，试验结束时，相同规格下累积蒸发抑制效率除D9略大于900 g·m^{-2}的黄麻纤维毯（H9）外，均表现为：黄麻>稻草>棕榈>椰丝，且均随规格增大而增大，其中D9抑制蒸发效率高达71.3%。（4）植物纤维毯覆盖干旱区尾矿砂的最佳节水降温方案为D9。综上所述，植物纤维毯覆盖能有效节水降温，研究结果可为干旱区应用MICP技术控制尾矿污染扩散过程中调控水热条件提供理论支撑。

关 键 词：尾矿砂；植物纤维毯；温度；保水性能；蒸发量
文章编号：1000－6060(2023)09－1467－14(1467～1480)

中国矿山尾矿及采矿废石的年排放量约占工业固体废物的50%左右[1]，截止2019年，尾矿总量累计超过170×10^8 t[2]。尾矿的堆积给周边生态环境及人体健康构成较大威胁，尾矿扬尘扩散漂移、废弃物下渗、淋滤液运移，使得矿区及周边地区土壤和地下水的矿物质以及重金属等有害元素含量增加，导致地表水、地下水及土壤污染。微生物诱导碳酸钙沉淀（Microbial induced calcite precipitation，MICP）技术操作简单、环境友好、成本低、效率高，而且无二次污染[3]，在控制尾矿污染扩散方面具有良好的应用前景。Kang等[4]利用MICP技术固化黄铁矿尾矿砂，固化样品中Mn^{2+}、Cu^{2+}和Zn^{2+}含量明显降低。He等[5]利用从本研究供试尾矿筛选出的尿素水解菌成功在室外固化尾矿，与对照相比，尾矿砂固化体抗压强度提高121%，浸出液生物毒性降低58%。但MICP技术在实际操作中会受到温度和水分的限制与约束，温度的变化状态会影响细菌的生长、微生物酶活性、细菌的生物分解作用以及结合沉淀的过程[6]，含水率会显著影响固化土体的抗压强度[7]。而干旱区降水少、蒸发强，严重制约其推广应用，因此降低尾矿蒸发、控制尾矿温度对MICP技术在干旱区的应用有极其重要的意义。

近年来，由于植物纤维材料廉价易得、原料广泛、绿色环保逐渐受到人们的关注[8]。农业生产利

收稿日期：2022-10-01； **修订日期：**2022-11-21
基金项目：国家重点研发计划项目（2018YFC1802903，2018YFC1802906）资助
作者简介：王鑫（1998-），男，硕士研究生，主要从事荒漠化防治研究. E-mail: 1208354355@qq.com
通讯作者：靳正忠（1978-），男，博士，副研究员，主要从事干旱区土壤微生物多样性研究. E-mail: jinzz@ms.xjb.ac.cn

用其覆盖在土壤表面形成物理阻隔层，大气与土壤间的能量和水分交换得以有效阻碍，土壤的水、肥、气、热等状况得以重新组合[9-10]。道路边坡覆盖植物纤维毯能有效蓄水保墒、改善土壤微生境和降低土壤温度的变化幅度，从而提高植物成活率，促进植被生长，进而实现护土固坡[11-13]。流动沙丘覆盖生态垫能降低表层温度，增加土壤含水率，降低地表输沙率，提高植被恢复效果和物种多样性[14-16]。河滩造林地覆盖生态垫能有效降低土壤温度和日均温，减小日温差，增加土壤含水量，抑制杂草生长[17-18]。黄土丘陵沟壑区沟道边坡覆盖植物纤维毯能有效减沙、减流，降低土壤侵蚀程度[19]。水库岸边铺盖棕榈纤维垫能增加植物成活率[20]。废弃砂石坑覆盖生态垫能增强土壤蓄水保墒能力、减少土壤养分流失、促进苗木健康生长[21]。虽然，前人在利用植物纤维材料促进生态恢复等方面做了大量研究，且取得了一系列成果，而有关干旱区尾矿污染防治应用植物纤维材料调控水热结合MICP技术的研究相对匮乏。因此，本文采用田间模拟试验，从减少尾矿水分蒸发损失、降低温度的角度出发开展研究，通过研究不同材料、规格植物纤维毯覆盖下的尾矿砂水热动态变化，探讨植物纤维毯覆盖对尾矿砂水热分布的影响，以期在干旱区尾矿污染防治中为MICP技术调控水热条件提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于2022年5月18日—2022年6月2日在中国科学院新疆生态与地理研究所莫索湾沙漠研究站(45°07′N，86°01′E)开展，试验期间的气温和相对湿度见图1。供试尾矿砂采自新疆某铜镍矿，采用BT-2001型激光粒度分布仪测得尾矿砂粒径为黏粒(<0.002 mm)0.7%、粉粒(0.002~0.05 mm)19.8%、砂粒(0.05~2 mm)79.5%，中值粒径(D_{50})为107.28 μm，风干含水率为0.7%，饱和含水率为28.7%，按照美国农业部土壤分类标准可归类为壤质砂土。供试植物纤维毯由天津亚德尔生物质科技股份有限公司生产，其种类及基本性质如表1所示。

1.2 试验设计

试验小区由木板拼接而成，并埋入地下与地表齐平，面积为0.5 m×0.5 m，深0.4 m，用塑料薄膜覆

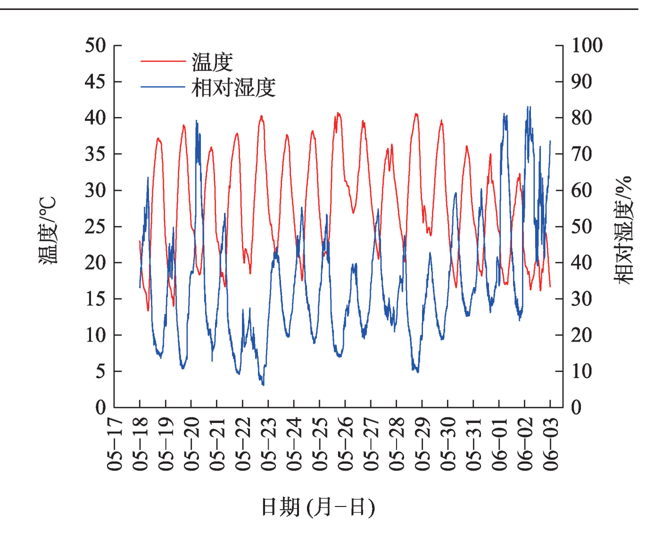


图1 尾矿砂蒸发试验期间气温与相对湿度

Fig. 1 Air temperature and relative humidity during the evaporation experiment on the tailing sand

盖小区四周及底部，以防止小区间的水分互渗。将晒干后的尾矿砂按容重1.43 g·cm^{-2}装入木框内至38 cm厚。试验前用滤纸覆盖在表面，分多次加25%尾矿砂质量的水，然后在其表面覆盖一层塑料薄膜防止蒸发，静置12 h[22]，待水渗流充分后取下塑料薄膜，按照随机区组排列进行地面覆盖处理。本试验共设置17组处理(表1)，分别为无覆盖(CK)；黄麻纤维毯(H)、稻草纤维毯(D)、椰丝纤维毯(Y)、棕榈纤维毯(Z)，除CK处理以外，其余处理均有4种规格(300 g·m^{-2}、500 g·m^{-2}、700 g·m^{-2}和900 g·m^{-2})，每一处理重复3次，其布置如图2所示。如遇降雨天气利用篷布对试验小区进行遮雨，以避免降水的影响。试验期间各小区均不再灌水。

1.3 测定项目及方法

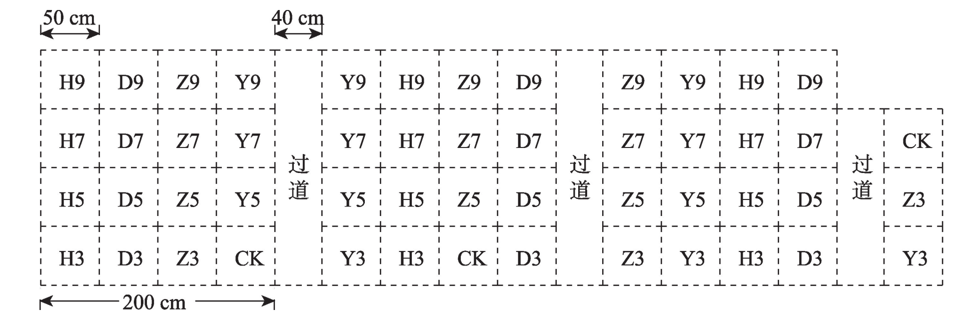
1.3.1 尾矿砂温度 利用直角地温计测定尾矿砂5 cm、10 cm、15 cm、20 cm深度的温度，于5月18日开始连续测定15 d。环境温度越高，覆盖措施降温作用越明显[23]，因此在每天气温相对较高的15:00读取地温，并选取晴天(5月19日和5月21日)从07:00—21:00每2 h记录一次数据，同时通过气象站记录试验期间的气温和相对湿度。

1.3.2 尾矿砂含水率 尾矿砂含水率通过烘干称重法测定[24]。5月18日测定初始含水率，之后每隔3 d测定一次，测定当天08:00利用土钻分别取0~5 cm、5~10 cm、10~15 cm、15~20 cm和20~30 cm深度的尾矿砂进行测定。并将测定的土壤质量含水率乘以

表1　覆盖处理类型及覆盖物基本性质

Tab. 1　Cover treatment types and basic properties of the covers

覆盖类型	规格/g·m⁻²	处理	厚度/mm	覆盖物组成
黄麻纤维毯	300	H3	2.7±0.2	由上下2层固定网(PP网)夹持黄麻纤维层并缝合形成的毯状物
	500	H5	4.4±0.3	
	700	H7	6.1±0.4	
	900	H9	8.2±0.4	
稻草纤维毯	300	D3	2.8±0.2	由上下2层固定网(PP网)夹持稻草纤维层并缝合形成的毯状物
	500	D5	5.0±0.2	
	700	D7	7.1±0.2	
	900	D9	10.0±0.5	
椰丝纤维毯	300	Y3	2.5±0.2	由上下2层固定网(PP网)夹持椰丝纤维层并缝合形成的毯状物
	500	Y5	4.1±0.1	
	700	Y7	5.6±0.4	
	900	Y9	6.9±0.1	
棕榈纤维毯	300	Z3	2.6±0.3	由上下2层固定网(PP网)夹持棕榈纤维层并缝合形成的毯状物
	500	Z5	3.9±0.5	
	700	Z7	5.8±0.1	
	900	Z9	7.2±0.1	
无覆盖	-	CK	-	-



注：CK为无覆盖；H、D、Y、Z分别为黄麻纤维毯、稻草纤维毯、椰丝纤维毯、棕榈纤维毯；下标3、5、7、9分别对应纤维毯的4种规格300 g·m⁻²、500 g·m⁻²、700 g·m⁻²、900 g·m⁻²。下同。

图2　试验布置平面示意图

Fig. 2　Schematic diagram of test layout

容重换算为土壤体积含水率。

1.3.3　*尾矿砂水分蒸发量*　尾矿砂水分蒸发量通过自制微型蒸渗仪测定[23,25]。自制微型蒸渗仪由PVC管制成，由内筒和外筒组成，内筒直径和高度为10 cm和15 cm，外筒直径和高度为11 cm和15 cm。测定尾矿砂蒸发量前，将未封底的自制微型蒸渗仪内筒垂直压入试验小区中间的尾矿砂中，待完全灌满内筒，且筒体顶端与尾矿砂表面齐平，然后将其整体挖出，平整底端、顶端，再用无纺布封底并称其质量。将称重后的内筒置于固定在取尾矿砂处的外筒内，并保持与表面齐平，每个试验小区均放置1个自制微型蒸渗仪。每天08:00取出内筒利用百分之一(精度为0.01 g)天平进行称重，试验开始后每隔3 d更换一次尾矿砂，连续测定15 d。蒸发抑制效率是指在土壤蒸发过程中某些指标抑制土壤水分蒸发的能力[26-27]，本研究引入蒸发抑制效率来衡量植物纤维毯覆盖对尾矿砂水分蒸发的抑制作用。试验期间尾矿砂日蒸发量、累积蒸发量和累积蒸发抑制效率计算公式如下：

$$ED_t = M \times 10/(\rho_w \times r^2 \times \pi) \tag{1}$$

$$EC_t = \sum ED_t \tag{2}$$

$$I = 100\% \times (EC_0 - EC_t)/EC_0 \tag{3}$$

式中：ED_t 为第 t 天的尾矿砂日蒸发量(mm)；t 为蒸发天数(d)；M 为日蒸发质量(当日内筒质量与次日内筒质量之差)(g)；r 为自制微型蒸渗仪内筒的半径(cm)；ρ_w 为水的密度(1 g·cm^{-3})；ED_t 为第 t 天的尾矿砂累积蒸发量(mm)；I 为植物纤维毯覆盖的累积蒸发抑制效率(%)；EC_0 为无覆盖尾矿砂累积蒸发量(mm)。

1.4 数据处理

采用Excel 2016进行数据整理与分析；采用SPSS 27.0进行单因素方差分析(One-way ANOVA)检验各处理间的差异显著性(α=0.05)；采用回归分析定量描述累积蒸发量与蒸发时间的关系；采用Origin 2021绘图。

2 结果与分析

2.1 植物纤维毯覆盖对尾矿砂温度的影响

2.1.1 *植物纤维毯覆盖下尾矿砂温度的变化特征* 由不同植物纤维毯覆盖下0~20 cm尾矿砂温度的动态变化情况图(图3)可知，植物纤维毯覆盖下0~20 cm尾矿砂温度整体上低于CK，且随深度增加而降低，表现出覆盖后的降温效应。与CK相比，植物纤维毯覆盖下5 cm、10 cm、15 cm和20 cm深度的尾矿砂温度分别降低了3.8~10.6 ℃、3.0~9.4 ℃、1.0~6.3 ℃，0.9~4.6 ℃。相同材料植物纤维毯覆盖下的尾矿砂温度均随规格增大而降低，而同一规格下4种植物纤维毯均是稻草的降温效果表现最好，其中D9与其他覆盖处理相比，5 cm、10 cm、15 cm和20 cm深度的尾矿砂温度分别降低了1.0~6.7 ℃、1.3~6.5 ℃、1.1~5.3 ℃、1.1~3.7 ℃。从整个试验周期来看，植物纤维毯覆盖还可减小尾矿砂的日温差，CK在5 cm、10 cm、15 cm和20 cm深度的日温差分别高达9.5 ℃、7.0 ℃、6.0 ℃、5.3 ℃，植物纤维毯覆盖分别有效降低3.5~6.2 ℃、0.5~3.8 ℃、1.7~3.5 ℃、0.8~3.3 ℃。

2.1.2 *植物纤维毯覆盖下尾矿砂温度的日变化规律* 为进一步探究植物纤维毯覆盖对尾矿砂温度变化的影响，选取典型晴朗天气分析0~20 cm尾矿砂温度的日变化。各处理0~20 cm尾矿砂温度整体呈

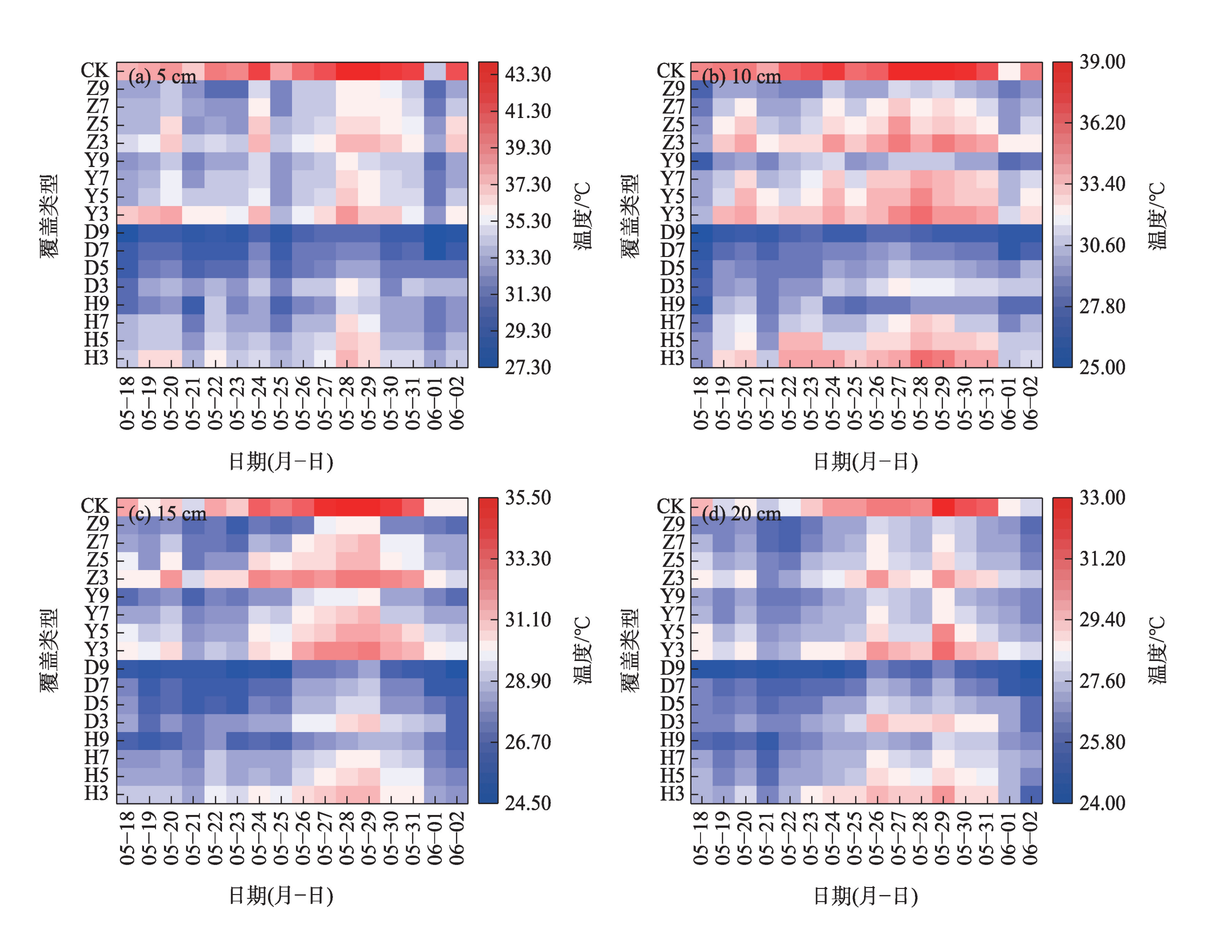


图3 不同植物纤维毯覆盖下0~20 cm尾矿砂温度变化

Fig. 3 Temperature changes of tailing sand at 0-20 cm depth under the covers of different plant fiber blankets

先上升后下降的变化趋势，且均随深度增加而降低（图4）。07:00—11:00，气温相对较低，植物纤维毯覆盖表现出良好的保温作用，11:00后，气温逐渐升高，各处理尾矿砂温度明显提高，但植物纤维毯覆盖下尾矿砂温度整体低于CK，表现出良好的降温作用。对各处理尾矿砂温度的日变化进行比较发现，植物纤维毯覆盖可平缓尾矿砂温度的变化趋势，且平缓作用随深度增加而减弱，与CK相比，5 cm、10 cm、15 cm、20 cm深度的变化幅度分别降低了2.8~10.5 ℃、4.2~8.7 ℃、2.2~5.5 ℃、0~2.7 ℃。其中，D9的平缓作用表现最好，5 cm、10 cm、15 cm、20 cm深度的变化幅度分别为6.8 ℃、5.0 ℃、3.3 ℃、2.7 ℃，与其他覆盖处理相比分别降低了1.1~7.7 ℃、0.8~4.5 ℃、0.7~3.3 ℃、0.3~2.5 ℃。

2.2　植物纤维毯覆盖对尾矿砂水分的影响

各处理0~30 cm平均尾矿砂体积含水率整体上呈下降趋势，植物纤维毯覆盖与CK相比，下降幅度小且在试验过程中存在上升现象，表现出覆盖后的增熵效应（表2）。试验结束时，对各处理0~30 cm平均尾矿砂体积含水率进行比较发现，相同材料植物纤维毯除Y7与Y9无明显差异（P>0.05）、D7略大于D9外（P<0.05），均表现出随规格增大而增加。其中，D7的0~30 cm平均尾矿砂体积含水率最高，比其他覆盖处理显著提高0.8%~11.4%（P<0.05），Z3最低，较CK提高2.6%（P<0.05）。

由植物纤维毯覆盖下0~30 cm各层尾矿砂水分动态变化图（图5）可知，各处理0~5 cm、5~10 cm、10~15 cm、15~20 cm和20~30 cm尾矿砂体积含水率

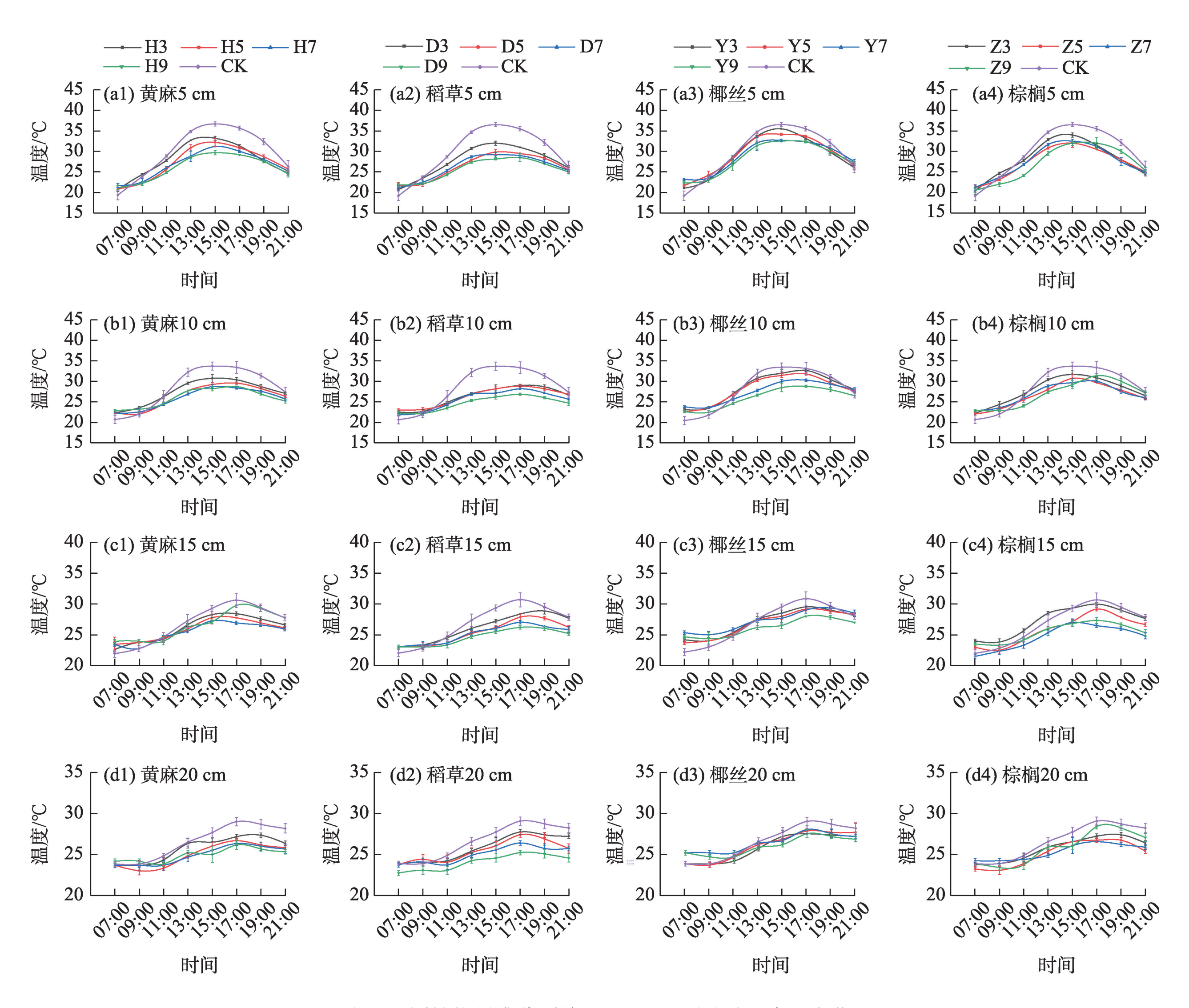


图4　不同植物纤维毯覆盖下0~20 cm尾矿砂温度日变化

Fig. 4　Diurnal variations of tailing sand temperature at 0−20 cm depth under the covers of different plant fiber blankets

表2 不同植物纤维毯覆盖下0~30 cm平均尾矿砂体积含水率

Tab. 2 Average volume water content of tailing sand at 0−30 cm depth under the covers of different plant fiber blankets /%

处理	蒸发时间					
	0 d	3 d	6 d	9 d	12 d	15 d
H3	28.00±0.13Ccd	28.49±2.51Cc	25.43±0.36Bc	24.73±0.24Bc	20.66±0.68Ac	19.26±0.37Ad
H5	30.09±0.48Ee	26.10±0.59Ca	27.36±0.09De	25.61±0.51Cd	23.73±0.22Be	22.70±0.28Agh
H7	27.35±0.05Dbc	28.46±0.23Ec	27.64±0.05Def	25.56±0.38Cd	23.97±0.63Be	23.31±0.35Ah
H9	31.03±0.25Df	31.70±0.43Eef	31.23±0.14Dj	29.48±0.35Cg	27.64±0.36Bh	26.77±0.45Aj
D3	28.38±0.31Ed	28.40±0.33Ec	26.37±0.19Dd	24.66±0.22Cc	21.80±0.91Bd	20.35±0.35Ae
D5	28.46±0.03Dd	30.12±0.20Ed	27.82±0.64Defg	26.90±0.48Ce	23.96±0.26Be	22.72±0.41Agh
D7	32.31±0.23Eg	32.30±0.37Ef	31.05±0.31Dj	29.57±0.27Cg	26.46±0.34Ag	27.62±0.51Bk
D9	31.83±0.12Ffg	25.83±0.15Aa	30.24±0.44Ei	29.52±0.32Dg	28.47±0.26Ci	26.37±0.38Bj
Y3	31.20±0.15Ef	32.26±0.74Ff	28.15±0.39Dfgh	27.19±0.05Ce	23.58±0.10Be	21.91±0.10Af
Y5	29.40±0.10De	30.18±0.45Dd	26.61±0.22Cd	26.15±0.35Cd	24.90±0.30Bf	22.04±0.85Afg
Y7	31.83±0.20Ffg	31.01±0.31Ede	30.17±0.30Di	28.21±0.07Cf	26.60±0.21Bg	24.50±0.32Ai
Y9	31.17±0.77Ef	30.19±0.13Dd	28.29±0.09Cgh	27.07±0.25Be	26.53±0.58Bg	24.20±0.47Ai
Z3	26.85±0.48Eab	26.34±0.10Eab	23.79±0.24Db	22.33±0.60Cb	18.90±0.27Bb	16.23±0.44Ab
Z5	26.24±0.13Ea	30.38±0.27Fd	22.89±0.67Da	21.17±0.54Ca	18.49±0.28Bb	17.08±0.46Ac
Z7	29.34±0.07De	27.67±0.14Cc	26.28±0.29Bd	26.02±0.93Bd	23.47±0.40Ae	22.77±0.18Agh
Z9	34.43±0.38Fh	32.12±0.16Eef	28.73±0.43Ch	31.34±0.05Dh	26.59±0.35Bg	24.85±0.38Ai
CK	31.12±1.27Ff	27.41±0.19Ebc	23.78±0.39Db	20.67±0.17Ca	16.85±0.06Ba	13.59±0.17Aa

注:同列不同小写字母表示蒸发时间相同,不同覆盖处理的0~30 cm平均尾矿砂体积含水率差异显著($P<0.05$);同行不同大写字母表示相同覆盖处理,不同蒸发时间的0~30 cm平均尾矿砂体积含水率差异显著($P<0.05$)。

均呈下降趋势。CK的尾矿砂水分蒸发损失随深度增加而减少,且0~5 cm的水分损失远大于20~30 cm,说明尾矿砂表层水分损失较多。各处理间,覆盖处理的尾矿砂水分损失远小于CK,说明植物纤维毯覆盖可有效减少尾矿砂的水分损失。试验结束时,对比各处理不同土层的尾矿砂体积含水率发现,0~5 cm尾矿砂增熵效应显著高于5~30 cm。植物纤维毯覆盖下0~5 cm的尾矿砂体积含水率较CK提高5.1%~20.4%;5~10 cm除Z3略小于CK外,其他覆盖处理提高0.8%~12.7%;10~15 cm提高1.9%~13.1%;15~20 cm提高3.7%~12.5%;20~30 cm提高2.0%~13.0%。

2.3 植物纤维毯覆盖对尾矿砂水分蒸发的影响

2.3.1 植物纤维毯覆盖对尾矿砂日蒸发量的影响 在整个试验周期内,植物纤维毯覆盖下的尾矿砂日蒸发量变化趋势基本一致,变化幅度与CK相比存在明显差异(图6),CK的日蒸发量变化更为剧烈,而植物纤维毯覆盖下其变化相对平缓。相同材料植物纤维毯覆盖下,平均日蒸发量随规格增大而降低,300 g·m^{-2}、500 g·m^{-2}、700 g·m^{-2}和900 g·m^{-2}分别比CK降低了37.0%~54.2%、51.3%~60.6%、53.1%~69.1%、56.1%~71.3%;而相同规格下,除H9的平均日蒸发量略高于D9外,整体表现为:椰丝>棕榈>稻草>黄麻,分别比CK降低了37.0%~56.1%、45.6%~62.9%、48.8%~71.3%、54.2%~70.4%。

2.3.2 植物纤维毯覆盖对尾矿砂累积蒸发量的影响 各处理尾矿砂累积蒸发量变化趋势基本相似,覆盖处理均远低于CK,且随着覆盖时间的延长差距越明显(图7)。与CK相比,4种规格植物纤维毯覆盖下,黄麻累积蒸发量在试验周期内分别降低了54.2%、60.6%、69.1%和70.4%,稻草降低了48.8%、58.3%、64.3%和71.3%,椰丝降低了37.0%、51.3%、53.1%和56.1%,棕榈降低了45.6%、55.1%、58.0%和62.9%。这说明植物纤维毯覆盖表现出良好的抑制蒸发效果,相同材料植物纤维毯的累积蒸发量均随规格增大而减少,而相同规格下除D9略小于H9外,累积蒸发量均表现为:椰丝>棕榈>稻草>黄麻。其中,900 g·m^{-2}的植物纤维毯累积蒸发量与700 g·m^{-2}相比,黄麻增

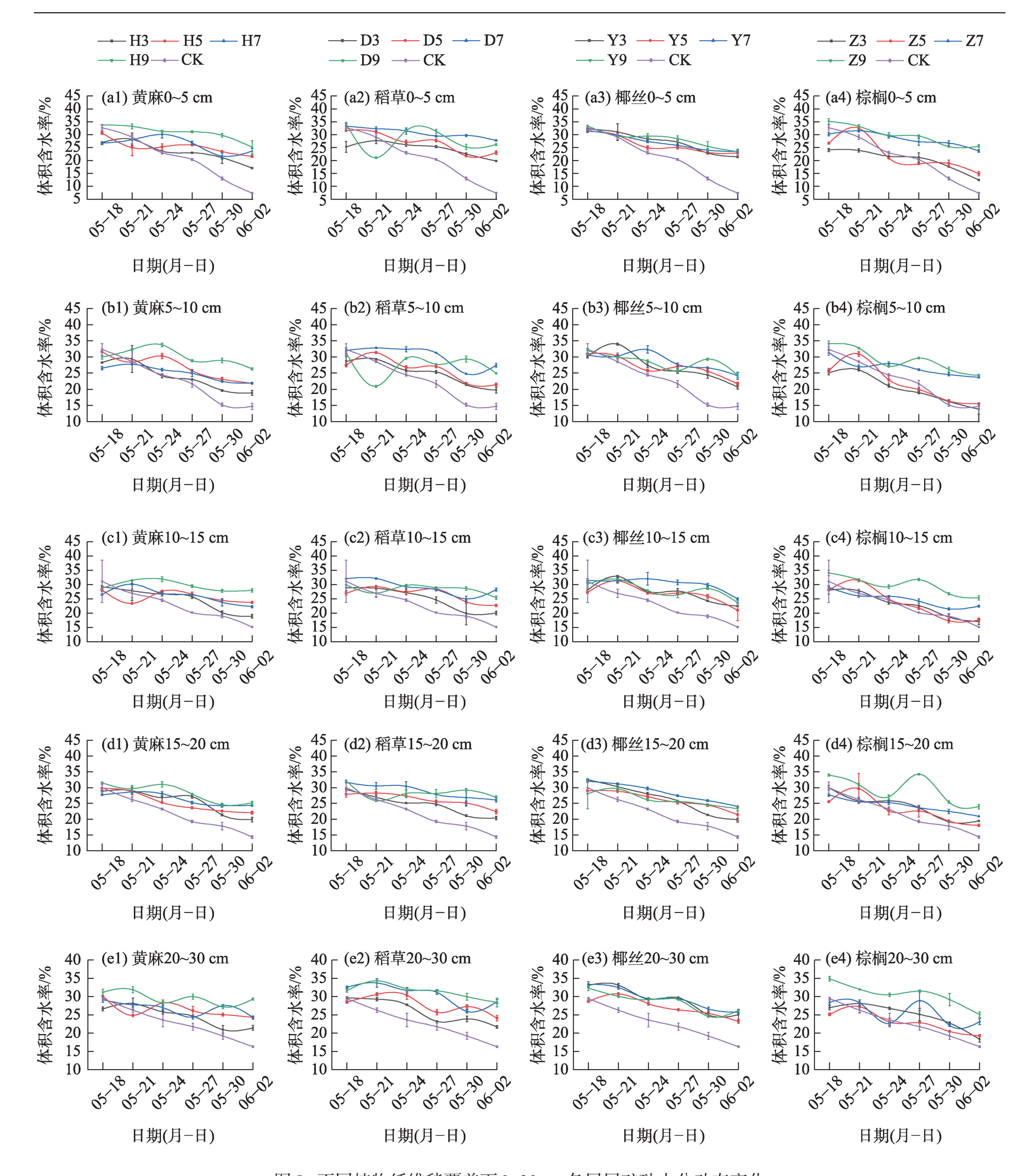


图5　不同植物纤维毯覆盖下0~30 cm各层尾矿砂水分动态变化

Fig. 5　Dynamic changes of water content of tailing sand in different layers from 0 to 30 cm under the covers of different plant fiber blankets

加了1.8%，稻草增加了10.8%、椰丝增加了5.7%、棕榈增加了8.4%，说明黄麻纤维毯规格达到700 g·m^{-2}时，再增大规格，其抑制蒸发效果增加不明显。

为分析植物纤维毯覆盖下尾矿砂累积蒸发量(W)与时间(t)的关系，分别通过Gardner拟合曲线$W=at^b$、指数方程$W=ae^{bt}$、对数方程$W=a\ln t+b$以及线性方程$W=at+b$拟合，拟合参数(a和b)如表3所示。4种回归方程的拟合参数中Gardner拟合曲线和线性方程决定系数(R^2)均达

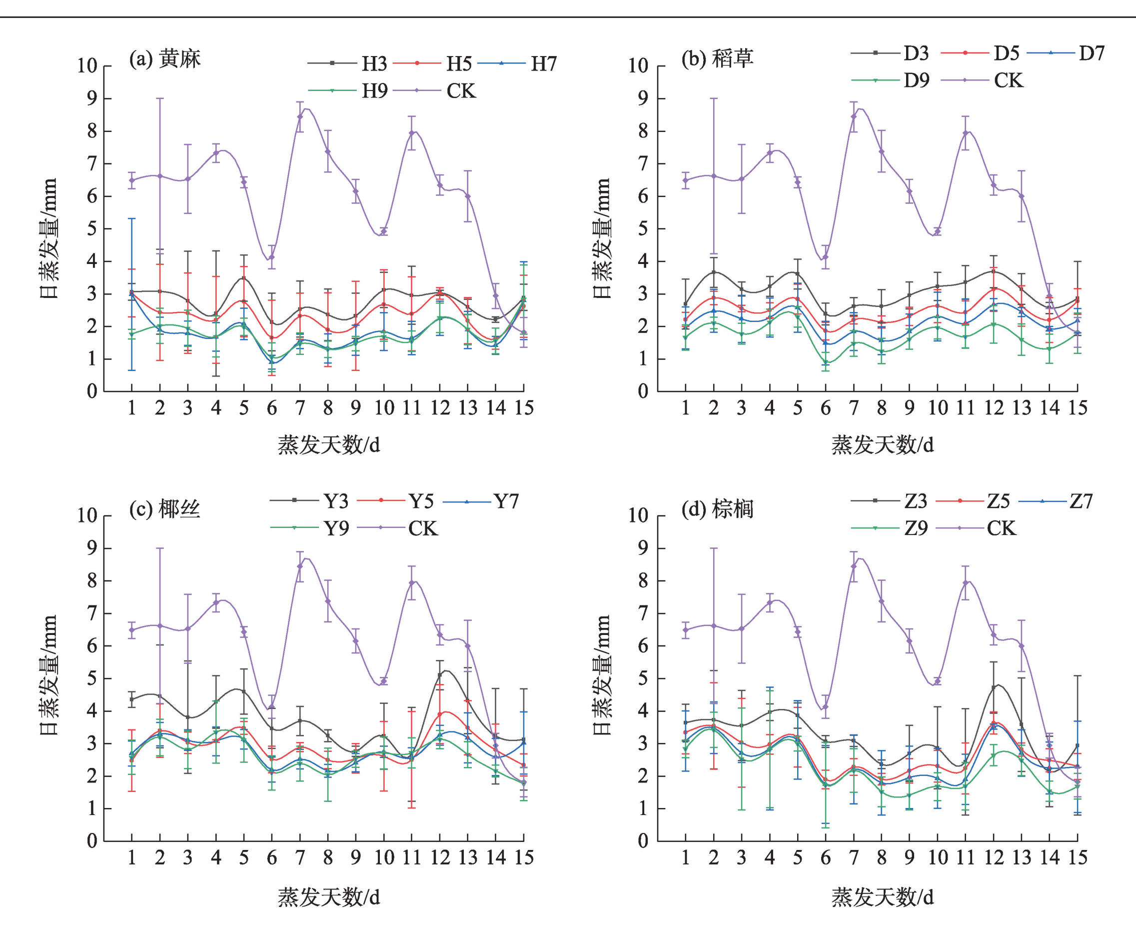


图6 不同植物纤维毯覆盖下尾矿砂日蒸发量变化过程

Fig. 6 Variation process of daily evaporation of tailing sand under the covers of different plant fiber blankets

到极显著水平，但比较R^2可得，$W=at+b$拟合效果相对较好。为了定量描述尾矿砂累积蒸发量与时间的关系，可通过$W=at+b$表征，用$V=\frac{dw}{dt}=a$表示尾矿砂蒸发速率。对线性方程的a值进行比较发现，植物纤维毯覆盖处理的a值均小于CK，说明植物纤维毯覆盖能降低尾矿砂蒸发速率，抑制尾矿砂水分蒸发。

2.3.3 植物纤维毯覆盖对尾矿砂累积蒸发抑制效率的动态影响 植物纤维毯覆盖下的尾矿砂累积蒸发抑制效率在蒸发2~15 d内变化趋势基本一致，均呈现先波动上升后波动下降的趋势(图8)。在整个试验周期内，相同材料植物纤维毯覆盖下的累积蒸发抑制效率除Y5在蒸发前1 d大于Y9，前4 d略大于Y7外，均随规格增大而增加，300 g·m^{-2}、500 g·m^{-2}、700 g·m^{-2}和900 g·m^{-2}的植物纤维毯平均累积蒸发抑制效率分别为38.1%~56.5%、54.8%~62.1%、56.1%~69.4%、57.4%~73.1%，相同规格下，除规格为500 g·m^{-2}的植物纤维毯平均累积蒸发抑制效率表现为：稻草>黄麻>椰丝>棕榈外，其他3种规格均表现为：黄麻>稻草>棕榈>椰丝。而在试验结束时，D9的累积蒸发抑制效率最高，达到71.3%。

3 讨论

植物纤维毯覆盖在土壤表面形成的隔离层，可缩短地表裸露时间，减少太阳辐射，降低夏季土壤温度，减小日温差和日变化幅度。前人在流动沙丘[28-29]、道路边坡[12,30]和河滩造林地[17]等覆盖植物纤维毯，均证实植物纤维毯覆盖能降低土壤温度。本研究结果表明，植物纤维毯覆盖也能降低0~20 cm尾矿砂温度。这主要是因为覆盖植物纤维毯后，尾矿砂与大气间的缓冲作用使太阳辐射不能直接到达尾矿砂表面，从而改变了尾矿砂表面的热学性质[31]。本研究还发现植物纤维毯规格越大，缓冲作用越强，对温度的调节作用越大。这是因为覆盖物对太阳辐射的阻挡作用随厚度增加而增强，同时由于覆盖厚度越大，保水效果越好，且水的比热容较大，导致升温速率较慢[32]。相同规格的4种植物纤维毯中稻草降温效果最好，可能是因为稻草纤维毯的厚度比其他3种植物纤维毯大。另外，植物纤

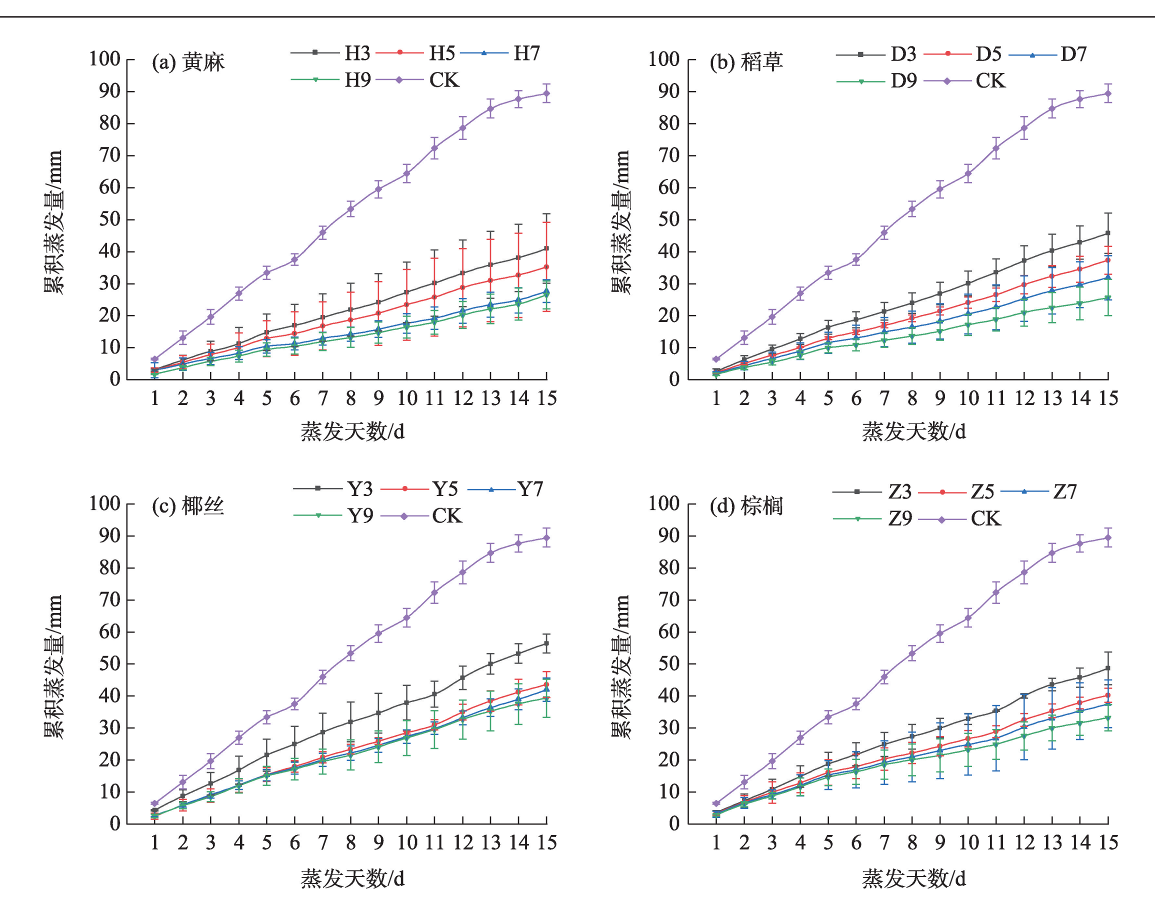


图7　不同植物纤维毯覆盖下尾矿砂的累积蒸发量

Fig. 7　Cumulative evaporation of tailing sand under the covers of different plant fiber blankets

维毯覆盖能降低0~20 cm尾矿砂温度的日变化幅度，减小日温差，主要是因为气温相对较低时，植物纤维毯覆盖的降温速率小于CK，而气温相对较高时，升温速率小于CK。

通过以往的研究发现[12,17,21,28]，植物纤维毯覆盖不同类型土壤的增熵效应均比较明显。陈学平等[12]研究发现在道路边坡覆盖植物纤维毯可保持土壤水分，土壤含水量均高于无纺布覆盖和CK。刘平等[17]研究发现在河滩造林地覆盖植物纤维毯能显著提高0~20 cm土壤含水量，比CK提高44.3 %。于丹丹等[21]研究发现在废弃砂石坑覆盖植物纤维毯能提高田间持水量、涵养水源量及最大蓄水量。张建生等[28]研究发现在流动沙丘覆盖植物纤维毯可提高20~60 cm的土壤含水量，与CK相比，20~40 cm处提高56.0%，40~60 cm处提高58.0%。本研究发现在干旱区尾矿砂覆盖植物纤维毯也能提高其含水率，比CK增加了2.6%~14.0%，相同材料植物纤维毯覆盖的增熵效应除Y7与Y9无明显差异、D7略大于D9外，均随规格增大而增加。另外研究还发现，试验期间植物纤维毯覆盖下的尾矿砂含水率下降速率小且存在上升现象，与赵永敢等[33]研究秸秆层阻碍土壤水分运动的结论相似。这是因为植物纤维层与尾矿砂导水率在蒸发过程中差异较大，水分不能进入植物纤维层内部，而在表层累积，当表层含水量达到某一临界值时，植物纤维的吸力值逐渐大于相邻的尾矿砂，开始吸收部分水分，然而植物纤维层内部毛管作用微弱，毛管水浸润部分植物纤维后，由于吸力不足而导致断裂，从而阻断毛管水的上升。

植物纤维毯覆盖可减少尾矿砂的水分蒸发损失，综合不同材料、规格植物纤维毯覆盖下的尾矿砂蒸发量和蒸发速率发现，覆盖处理的尾矿砂蒸发量均低于CK，与王丽丽等[34]研究结果相似，主要是因为覆盖可降低土壤的热通量。本研究发现，植物纤维毯覆盖下的尾矿砂累积蒸发量随时间的变化规律可用线性方程$W=at+b$定量描述，蒸发速率可用$V=\frac{dw}{dt}=a$表征，这与王佳欢等[35]的研究结果基本一致，其结果表明植物纤维毯覆盖不同复配土壤的累积蒸发量也随蒸发时间呈线性增加的趋势。本研

表3 不同植物纤维毯覆盖下尾矿砂累积蒸发量与时间的拟合参数

Tab. 3 Fitting parameters of cumulative evaporation and time of tailing sand under the covers of different plant fiber blankets

处理	$W=at^b$			$W=ae^{bt}$			$W=a\ln t+b$			$W=at+b$		
	a	b	R^2	a	b	R^2	a	b	R^2	a	b	R^2
H3	3.107	0.949	0.999	5.204	0.156	0.885	14.447	−4.700	0.884	2.685	0.688	0.999
H5	2.922	0.909	0.999	4.742	0.151	0.899	12.264	−3.679	0.880	2.285	0.851	0.999
H7	2.776	0.814	0.994	4.217	0.137	0.921	8.972	−1.900	0.867	1.681	1.337	0.996
H9	1.895	0.955	0.997	3.206	0.156	0.874	8.917	−2.890	0.873	1.665	0.379	0.995
D3	2.983	1.015	0.997	5.269	0.165	0.860	16.407	−5.948	0.886	3.047	0.195	0.999
D5	2.413	1.010	0.998	4.230	0.165	0.867	13.177	−4.829	0.880	2.455	0.039	0.999
D7	2.145	0.996	0.997	3.739	0.162	0.864	11.220	−3.927	0.882	2.087	0.248	0.998
D9	1.856	0.976	0.996	3.220	0.158	0.854	9.079	−2.886	0.896	1.675	0.604	0.996
Y3	4..562	0.931	0.999	7.659	0.152	0.867	19.838	−5.668	0.901	3.650	2.027	0.997
Y5	2.760	1.028	0.997	4.932	0.166	0.855	15.661	−5.744	0.889	2.902	0.166	0.999
Y7	2.958	0.979	0.997	5.123	0.159	0.860	14.690	−4.826	0.890	2.720	0.736	0.998
Y9	2.852	0.983	0.997	4.976	0.159	0.852	14.199	−4.565	0.901	2.613	0.493	0.998
Z3	3.857	0.943	0.998	6.544	0.153	0.861	17.231	−4.995	0.903	3.165	1.735	0.997
Z5	3.614	0.886	0.997	5.918	0.144	0.865	13.767	−3.237	0.899	2.534	2.102	0.996
Z7	3.392	0.885	0.996	5.575	0.144	0.859	12.837	−2.915	0.903	2.357	2.110	0.995
Z9	3.274	0.868	0.992	5.408	0.139	0.833	11.494	−1.982	0.928	2.076	2.789	0.991
CK	6.653	0.987	0.999	11.522	0.161	0.870	33.909	−11.511	0.900	6.232	1.703	0.994

注：W为累积蒸发量(mm)；a、b为拟合参数；t为蒸发天数(d)。

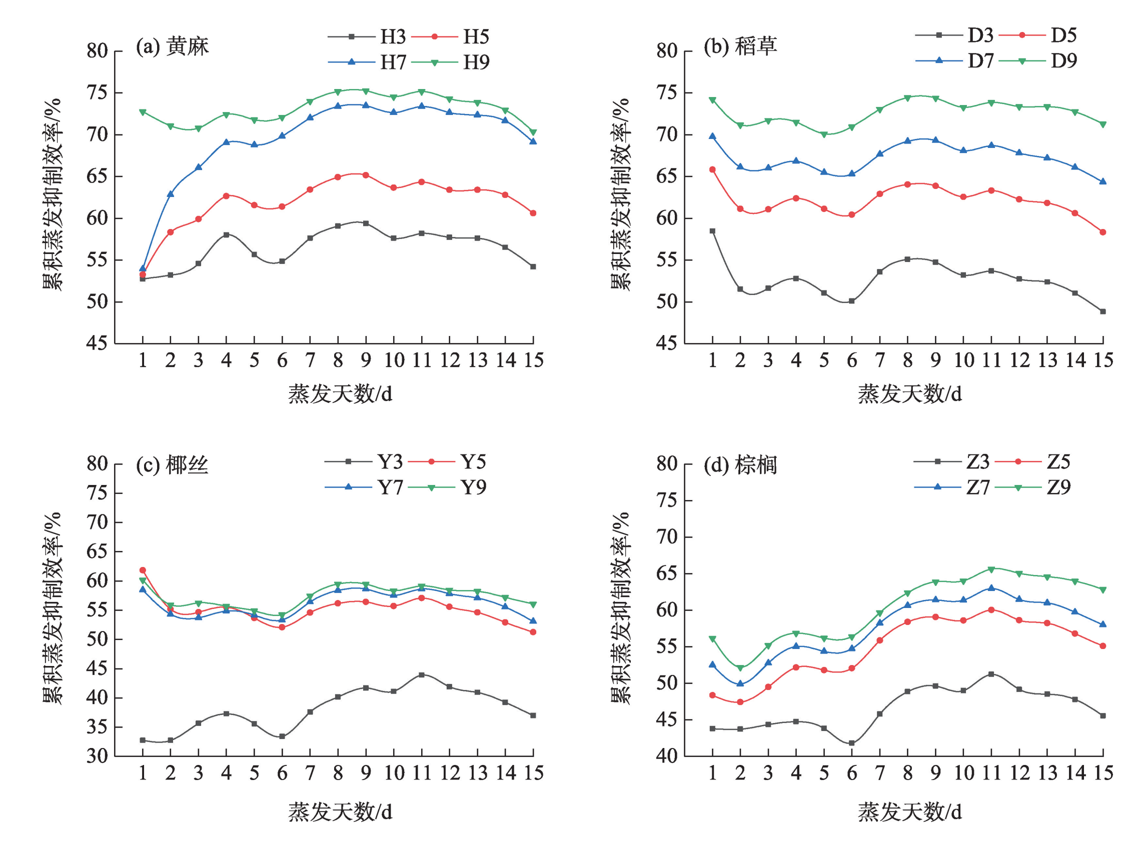


图8 不同植物纤维毯覆盖下累积蒸发抑制效率的动态变化

Fig. 8 Dynamic changes of cumulative evaporation inhibition efficiency under the covers of different plant fiber blankets

究还发现，4种植物纤维毯的蒸发速率均随规格增大而减小，其中黄麻纤维毯规格达到700 g·m^{-2}后，再增大规格，其蒸发速率降低不明显。这与孙博等[36]的研究结论类似，秸秆覆盖量越大，蒸发抑制效果越明显，但覆盖量增加到一定程度，土壤蒸发量无明显减少。也就是说，在本试验中，700 g·m^{-2}为黄麻纤维毯覆盖尾矿砂的适宜规格，而900 g·m^{-2}是否为稻草纤维毯、棕榈纤维毯和椰丝纤维毯的适宜规格尚需在此试验结果的基础上进一步探究。

He等[5]研究证实从本试验供试尾矿砂的尾矿中筛选出的尿素分解菌最佳生长温度为30.0 ℃，并在初始含水率为30.0%时成功在室外固化尾矿，达到有效控制尾矿污染扩散的效果。对本研究结果分析发现，利用He等[5]筛选出的尿素分解菌固化尾矿时，选用900 g·m^{-2}的稻草纤维毯来调控水热条件是比较合适的。然而，不同微生物对温度和水分的响应存在差异，因此在干旱区选用不同微生物控制尾矿污染扩散时，同样也可以根据本研究结果及微生物所需最优水热条件筛选适宜的植物纤维毯，从而达到增强控制尾矿污染扩散的效果。

4 结 论

本研究通过田间模拟试验系统研究了干旱区夏季不同植物纤维毯覆盖下尾矿砂温度、含水率以及蒸发量的动态变化，探讨了不同材料、规格植物纤维毯覆盖对尾矿砂水热分布状况的作用效果，主要结论如下：

（1）植物纤维毯覆盖能降低0~20 cm尾矿砂温度、减小日温差及日变化幅度。植物纤维毯的降温作用均随规格增大而增强。其中，D9降温效果最好，日变化幅度最小。

（2）植物纤维毯覆盖能显著提高0~30 cm尾矿砂含水率。试验结束时，各覆盖处理的尾矿砂含水率除Y7、Y9无显著差异（P<0.05），D9略小于D7外，均随规格增大而增加。其中，D7尾矿砂含水率最高，与CK相比提高14.0%。

（3）植物纤维毯覆盖对尾矿砂水分蒸发具有明显抑制作用，抑制蒸发效果除D9略大于H9外，相同规格的4种植物纤维毯表现为：黄麻>稻草>棕榈>椰丝，且均随规格的增大而增强。其中，D9蒸发抑制效果最佳，试验结束时，累积蒸发抑制效率达到71.3%。

综上分析，干旱区夏季900 g·m^{-2}的稻草纤维毯覆盖尾矿砂的降温节水效果最佳。因此，利用从供试尾矿筛选出的尿素水解菌控制尾矿污染扩散时，选用900 g·m^{-2}的稻草纤维毯调控水热较为合适。

参考文献（References）

[1] 张越男. 大宝山尾矿库区地下水重金属污染特征及健康风险研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2013. [Zhang Yuenan. The polluion characteristics and assessment of health risk from heavy metals in groundwater of Dabaoshan tailing zone, Guangdong Province, China[D]. Changsha: Hunan University, 2013.]

[2] 王海涛, 田玮, 岳昌盛, 等. 金属尾矿土壤重金属污染及修复技术研究现状[J]. 中国资源综合利用, 2022, 40(5): 127−131. [Wang Haitao, Tian Wei, Yue Changsheng, et al. Research status of heavy metal pollution and remediation technology in metal tailings soil[J]. China Resources Comprehensive Utilization, 2022, 40(5): 127−131.]

[3] 赵庆龄, 张乃弟, 路文如. 土壤重金属污染研究回顾与展望Ⅱ——基于三大学科的研究热点与前沿分析[J]. 环境科学与技术, 2010, 33(7): 102−106, 137. [Zhao Qingling, Zhang Naidi, Lu Wenru. Research review and prospect on soil heavy metals pollution Ⅱ: Research focus and analysis based on three major disciplines[J]. Environmental Science & Technology, 2010, 33(7): 102−106, 137.]

[4] Kang B, Zha F S, Deng W H, et al. Biocementation of pyrite tailings using microbially induced calcite carbonate precipitation[J]. Molecules, 2022, 27(11): 3608, doi: 10.3390/molecules27113608.

[5] He Z F, Xu Y T, Yang X L, et al. Passivation of heavy metals in copper-nickel tailings by in-situ bio-mineralization: A pilot trial and mechanistic analysis[J]. The Science of the Total Environment, 2022, 838(Pt4): 156504, doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.156504.

[6] 肖海, 胡欢, 吕广柳, 等. 微生物诱导碳酸钙沉淀影响因素研究进展分析[J]. 三峡大学学报(自然科学版), 2022, 44(6): 66−75. [Xiao Hai, Hu Huan, Lü Guangliu, et al. Research progresson factors of microbial induced calcium carbonate precipitation[J]. Journal of China Three Gorges University (Natural Sciences Edition), 2022, 44(6): 66−75.]

[7] Hu X D, Fu X Z, Pan P, et al. Incorporation of mixing microbial induced calcite precipitation (MICP) with pretreatment procedure for road soil subgrade stabilization[J]. Materials, 2022, 15(19): 6529, doi: 10.3390/ma15196529.

[8] Hejazi S M, Sheikhzadeh M, Abtahi S M, et al. A simple review of soil reinforcement by using natural and synthetic fibers[J]. Construction and Building Materials, 2012, 30: 100−116.

[9] 王平, 陈娟, 谢成俊, 等. 干旱地区覆盖方式对土壤养分及马铃薯产量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2021(4): 118−125. [Wang Ping, Chen Juan, Xie Chengjun, et al. Effects of different covering modes on soil nutrient and potato (*Solanum tuberosum* L.) yield in

arid areas[J]. Soils and Fertilizers Sciences in China, 2021(4): 118-125.]

[10] 吕剑, 李金武, 郁继华, 等. 不同地表覆盖方式对松花菜土壤温度、产量和水分利用的影响[J]. 核农学报, 2021, 35(8): 1941-1951. [Lü Jian, Li Jinwu, Yu Jihua, et al. Effects of different surface covering methods on soil temperature, yeild and water utilization of loose-curd cauliflower (*Brassica oleracea* var. *botrytis* L.)[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2021, 35(8): 1941-1951.]

[11] 李宏钧, 孔亚平, 张岩. 植物纤维毯生态防护效益研究述评[J]. 中国水土保持科学, 2016, 14(3): 146-154. [Li Hongjun, Kong Yaping, Zhang Yan. A review of geotextiles ecological protection technology[J]. Science of Soil and Water Conservation, 2016, 14(3): 146-154.]

[12] 陈学平, 简丽, 贾献卓, 等. 植物纤维毯覆盖对公路边坡植被重建的影响[J]. 公路交通科技, 2017, 34(2): 143-148. [Chen Xueping, Jian Li, Jia Xianzhuo, et al. Effect of plant fiber blanket coverage on revegetation of highway side slope[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2017, 34(2): 143-148.]

[13] Jankauskas B, Jankauskiene G, Fullen M A. Soil conservation on road embankments using palm-mat geotextiles: Field studies in Lithuania[J]. Soil Use and Management, 2012, 28(2): 266-275.

[14] 张梅花. 生态垫覆盖对沙丘土壤水分及荒漠灌木生长的影响[J]. 水利规划与设计, 2019(4): 68-71. [Zhang Meihua. Effects of eco-mat mulching on soil moisture and desert shrub growth in dune[J]. Water Resources Planning and Design, 2019(4): 68-71.]

[15] 杨晓晖, 于春堂, 秦永胜. 流动沙丘上生态垫防风固沙效果初步评价[J]. 生态环境, 2007, 16(3): 964-967. [Yang Xiaohui, Yu Chuntang, Qin Yongsheng. A preliminary evaluation of ecomat function on windbreak and sand-fixation in mobile sand dune[J]. Ecology and Environment, 2007, 16(3): 964-967.]

[16] 张利, 罗麟, 朱欣伟, 等. 生态毯对川西北流动沙地生态恢复的影响[J]. 草地学报, 2017, 25(5): 1156-1159. [Zhang Li, Luo Lin, Zhu Xinwei, et al. Effect of eco-mat on ecological restoration in shifting sandy land of northwest Sichuan[J]. Acta Agrestia Sinica, 2017, 25(5): 1156-1159.]

[17] 刘平, 马履一, 郝亦荣. 生态垫对河滩造林地土壤温湿度和杂草的影响[J]. 中国水土保持科学, 2005, 3(1): 77-81. [Liu Ping, Ma Lüyi, Hao Yirong. Effect of eco-mat on soil temperature and water content and weed of afforestation in river-beach[J]. Science of Soil and Water Conservation, 2005, 3(1): 77-81.]

[18] 高甲荣, 孙保平, 王淑琴, 等. 可降解生态垫在河滩地造林中抑制杂草的效果[J]. 中国水土保持科学, 2004, 2(1): 38-41. [Gao Jiarong, Sun Baoping, Wang Shuqin, et al. Weed controlling effect of degradable ecomat in river-beach afforestation[J]. Science of Soil and Water Conservation, 2004, 2(1): 38-41.]

[19] 张平, 王树森, 马迎梅, 等. 黄土丘陵沟壑区不同草本植物生长期植物纤维毯对沟道边坡产流产沙的影响[J]. 水土保持学报, 2020, 34(5): 49-55. [Zhang Ping, Wang Shusen, Ma Yingmei, et al. Effects of plant fiber blankets of different herbaceous plant growth stages on runoff and sediment yield in the loess hilly and gully region[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2020, 34(5): 49-55.]

[20] 肖兴富, 李文奇, 常佩丽, 等. 棕榈纤维垫法恢复水库岸边植被施工技术[J]. 南水北调与水利科技, 2005, 3(4): 26-28. [Xiao Xingfu, Li Wenqi, Chang Peili, et al. Technique of macrophyte in littoral zone by palm mat with interpolatory sallow[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2005, 3(4): 26-28.]

[21] 于丹丹, 贾黎明, 贾忠奎, 等. 生态垫及保水剂对废弃砂石坑立地造林的影响[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2015, 39(6): 99-104. [Yu Dandan, Jia Liming, Jia Zhongkui, et al. Effects of eco-mat and super absorbent polymers on forest in waste sand and gravel pit sites[J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition), 2015, 39(6): 99-104.]

[22] 王珍珍, 周长泉, 许建堂. 基于不同覆盖厚度的景泰县土壤水分蒸发研究[J]. 甘肃科技, 2018, 34(15): 30-32, 73. [Wang Zhenzhen, Zhou Changquan, Xu Jiantang. Soil water evaporation in Jingtai County based on different cover thickness[J]. Gansu Science and Technology, 2018, 34(15): 30-32, 73.]

[23] 蒋文君, 康银红, 陈瑶, 等. 不同覆盖方式对土壤水热分布的影响[J]. 土壤通报, 2022, 53(1): 74-80. [Jiang Wenjun, Kang Yinhong, Chen Yao, et al. The influence of different mulching methods on the distribution of soil water and heat[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2022, 53(1): 74-80.]

[24] 肖美珊. 土壤检验技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2011: 147-150. [Xiao Meishan. Soil inspection technique[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2011: 147-150.]

[25] 王晓燕, 陈洪松, 王克林. 红壤坡地不同土地利用方式土壤蒸发和植被蒸腾规律研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(12): 41-45. [Wang Xiaoyan, Chen Hongsong, Wang Kelin. Rules of soil evaporation and plant transpiration under different land use patterns in the sloping land of red soil[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2007, 23(12): 41-45.]

[26] 张建国, 李红伟, 李雅菲, 等. 土壤盐结皮人工培育及其破损程度对土壤蒸发的影响[J]. 农业工程学报, 2019, 35(13): 138-144. [Zhang Jianguo, Li Hongwei, Li Yafei, et al. Artificial cultivation of soil salt crust and effects of its damage rate on soil evaporation[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2019, 35(13): 138-144.]

[27] 唐洋, 李新虎, 郭敏, 等. 不同初始盐分浓度下土壤盐结皮的形成过程及其对蒸发的影响机理[J]. 干旱区地理, 2022, 45(4): 1137-1145. [Tang Yang, Li Xinhu, Guo Min, et al. Formation process of soil salt crust and its influence mechanism on evaporation under different initial salt concentrations[J]. Arid Land Geography, 2022, 45(4): 1137-1145.]

[28] 张建生, 张梅花, 李庆会, 等. 生态垫覆盖对沙漠土壤水分和温

度的影响[J]. 中国沙漠, 2008, 28(2): 280−283. [Zhang Jiansheng, Zhang Meihua, Li Qinghui, et al. Effects of eco-mat mulch on soil temperature and water content in desert[J]. Journal of Desert Research, 2008, 28(2): 280−283.]

[29] 杨越, 曹波, 孙保平, 等. 生态垫对流动沙地土壤温湿度和养分的影响[J]. 水土保持研究, 2008, 15(3): 81−83, 87. [Yang Yue, Cao Bo, Sun Baoping, et al. Effect of eco-mat on soil temperature and moisture and soil nutrient in drifting sand land[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2008, 15(3): 81−83, 87.]

[30] 李宏钧, 孔亚平, 张岩, 等. 植物纤维毯对道路边坡微生境的影响[J]. 公路交通科技, 2016, 33(6): 146−151. [Li Hongjun, Kong Yaping, Zhang Yan, et al. Effect of geotextile on road slope microhabitat[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2016, 33(6): 146−151.]

[31] 马永财, 滕达, 衣淑娟, 等. 秸秆覆盖还田及腐解率对土壤温湿度与玉米产量的影响[J]. 农业机械学报, 2021, 52(10): 90−99. [Ma Yongcai, Teng Da, Yi Shujuan, et al. Effects of straw mulching and decomposition rate on soil temperature and humidity and maize yield[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2021, 52(10): 90−99.]

[32] 刘立豪, 王辉, 谭帅, 等. 不同覆盖方式对土壤水热及猕猴桃产量的影响[J]. 排灌机械工程学报, 2022, 40(2): 188−195. [Liu Lihao, Wang Hui, Tan Shuai, et al. Effects of different mulching patterns on soil moisture, soil temperature and yield of kiwifruit[J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2022, 40(2): 188−195.]

[33] 赵永敢, 逄焕成, 李玉义, 等. 秸秆隔层对盐碱土水盐运移及食葵光合特性的影响[J]. 生态学报, 2013, 33(17): 5153−5161. [Zhao Yonggan, Pang Huancheng, Li Yuyi, et al. Effects of straw interlayer on soil water and salt movement and sunflower photosynthetic characteristics in saline-alkali soils[J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(17): 5153−5161.]

[34] 王丽丽, 余海龙, 黄菊莹, 等. 不同覆盖措施的土壤生态环境效应和作物增产效应述评[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(7): 11−15. [Wang Lili, Yu Hailong, Huang Juying, et al. Review on the effects of different mulching measures on soil ecological environment and crop yield[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2016, 44(7): 11−15.]

[35] 王佳欢, 杨新兵, 刘彦林, 等. 石灰岩弃渣与农田土复配土壤水分蒸发及覆盖物保水性能[J]. 水土保持学报, 2022, 36(5): 369−376. [Wang Jiahuan, Yang Xinbing, Liu Yanlin, et al. Water evaporation and mulch water retention of mixed soils with limestone waste residue and farmland soil[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2022, 36(5): 369−376.]

[36] 孙博, 解建仓, 汪妮, 等. 不同秸秆覆盖量对盐渍土蒸发、水盐变化的影响[J]. 水土保持学报, 2012, 26(1): 246−250. [Sun Bo, Xie Jiancang, Wang Ni, et al. Effect of straw mulching on change of evaporation and water-salt in the saline soil[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2012, 26(1): 246−250.]

Effect of plant fiber blanket cover on hydrothermal distribution of tailing sand in arid area

WANG Xin[1,2,3], JIN Zhengzhong[1,2], SHI Jianfei[1,2,3], YANG Xiaoliang[1,2,3], XU Xinwen[1,2]

(1. National Engineering Technology Research Center for Desert-Oasis Ecological Construction, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, Xinjiang, China; 2. Mosuowan Desert Research Station, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Shihezi 832000, Xinjiang, China; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Because the cover affects the water and heat distribution of mine tailings, studying the effect of plant fiber blanket cover on the hydrothermal distribution of tailing sand is critical for regulating hydrothermal conditions in microbial induced calcite precipitation (MICP) technology to mitigate tailings pollution. In the summer of 2022, a field simulation experiment was conducted using plant fiber blankets of various materials (jute, straw, coconut silk, and palm) and specifications (300 $g\cdot m^{-2}$, 500 $g\cdot m^{-2}$, 700 $g\cdot m^{-2}$, and 900 $g\cdot m^{-2}$) to cover tailing sand at the Mosuo Wan Desert Research Station, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences. The influence of the plant fiber blanket covering on the water and heat distribution of tailing sand was investigated by measuring the change in the temperature, water content, and evaporation of tailing sand. The results revealed that (1) The plant fiber blanket covers reduced the temperature, daily temperature difference, and daily variation of tailing sand at a depth of 0−20 cm. The 900 $g\cdot m^{-2}$ straw fiber blanket (D9) exhibited the strongest cooling effect and smallest daily variation. (2) The plant fiber blanket covers improved water retention and reduced the water evaporation loss of tailing sand at a depth of 0−30 cm. (3) The plant fiber blanket covers can inhibit the evaporation of water from tailing sand. The test results revealed that cumulative evaporation inhibition efficiency under the same specification except D9 was slightly greater than 900 $g\cdot m^{-2}$ jute fiber blanket (H9), and followed the order jute>straw>palm>coconut silk. The evaporation efficiency of all materials increased with the increase in specifications, with D9 inhibiting evaporation efficiency up to 71.3%. (4) D9 was the best water saving and cooling solution for plant fiber blanket covering tailing sand in arid areas. The plant fiber blanket covers can effectively save water and reduce temperature. Furthermore, the results of the study can provide theoretical support for the application of MICP technology in arid areas to control hydrothermal conditions in the pollution dispersion of tailings.

Key words: tailing sand; plant fiber blanket; temperature; water retention; evaporation